4

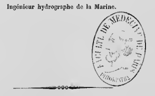
NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. BOUQUET DE LA GRYE,
Ingénieur hydrographe de la Marine.



PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, DU BUREAU DES LONGITUDES,
SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,
Quai des Augustins, 55.
—
1879

AVANT-PROPOS.

L'exposé des titres scientifiques que je puis présenter à l'appui d'une candidature à l'Institut, dans la Section de Géographie et Navigation, pourrait être divisé, comme le nom même de la Section, en deux Parties distinctes.

Dans la première je mentionnerais les levés géodésiques et hydrographiques exécutés sur la côte de France, en Italie, en Égypte, en Nouvelle-Calédonie et à l'île Campbell.

Dans la seconde je pourrais donner comme se rattachant à la navigation mes recherches sur les marées, sur les courants, la publication du *Pilote de la côte ouest de France*, etc.

Mais une telle méthode, qui semble au premier abord naturelle, aurait l'inconvénient de laisser en dehors de ces deux divisions, ou de comprendre sous un titre peu approprié, des études sur l'érosion des côtes par les lames, sur les barres des rivières et sur les profondeurs des chenaux, enfin diverses recherches sur la Physique du globe, qui, appartenant à la fois à la Géographie et à la Navigation, font partie de l'Hydrographie générale.

Il m'a donc paru plus simple de faire un exposé chronologique de mes travaux; je crois que l'on comprendra mieux ainsi que chacun des progrès que j'ai pu faire faire à la science hydrographique s'est imposé de lui-même à mon esprit, par suite des difficultés que je trouvais sur ma route.

Dans le métier d'hydrographe, le temps manque, en effet, presque toujours pour poursuivre des travaux demandant une minutieuse exactitude.

La science de l'ingénieur consiste à trouver des solutions simples et pratiques à des questions qui se présentent sous des aspects toujours variés.

L'Académie jugera si j'ai montré les qualités nécessaires pour remplir ce rôle difficile.

Je ne dois pas oublier de mentionner ici que des encouragements précieux me furent donnés, dès le début de ma carrière, par deux Membres de l'Institut dont les noms resteront longtemps dans ses souvenirs : MM. Ma-

thieu et Laugier. C'est à eux que je dois d'avoir pu indiquer à mon tour à mes camarades du Dépôt de la Marine, combien il était important de se familiariser avec les études de l'Astronomie pratique.

Je dois aussi rappeler que j'ai reçu de fréquents témoignages de satisfaction des Amiraux placés à la tête du Dépôt de la Marine et des Commandants de division sous les ordres desquels j'ai travaillé.

L'Académie a bien voulu me témoigner sa bienveillance à plusieurs reprises en m'accordant deux présentations au Bureau des Longitudes et le prix d'Astronomie fondé par Lalande; je ne puis oublier aussi les éloges de son Président à mon retour de la mission qu'elle m'avait confiée dans l'hémisphère austral.

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. BOUQUET DE LA GRYE,
Ingénieur hydrographe de la Marine.

Les levés hydrographiques que j'ai faits antérieurement à 1853 se rapportent à une époque où, travaillant en sous-ordre, je ne pouvais avoir d'autre prétention que d'apprendre à mettre en œuvre les procédés imaginés par mes devanciers.

Les Cartes sur lesquelles se trouve mon nom comprennent l'île d'Elbe, l'île Pianosa, les îles Giglio et Giannutri, la partie sud de la Toscane et la province de Civita-Vecchia.

En 1853, j'étais envoyé seul pour faire une reconnaissance complète de la partie maritime de la Loire; ce levé, rapidement mené, fit décider mon envoi l'année suivante dans la Nouvelle-Calédonie, récemment mise sous le pavillon français.

L'île était alors presque aussi inconnue qu'au temps de Cook et de d'Entrecasteaux; une seule Carte en traçait la limite approximative; le sud-est était peu connu, et le grand récif sud restait mystérieux et plein de légendes parmi les maraudeurs du Pacifique.

Le navire à bord duquel j'étais embarqué, *l'Aventure*, après avoir touché à divers points de l'Océanie dont je déterminai les positions, vint mouiller dans l'anse sur les bords de laquelle devait s'élever dix ans après la ville de

Nouméa. Un mois après son arrivée, la corvette se perdait sur un des récifs qui bordent l'île des Pins, et ce naufrage, qui enlevait à l'État un grand navire, me procura une embarcation et dix matelots pour commencer mon travail hydrographique.

C'est avec ce canot qu'a été entrepris et mené à bonne fin le levé régulier des côtes sud-ouest et sud-est de l'île, qu'ont été explorés le grand récif qui s'étend à 30 milles de terre et la côte au nord de la Havannah, où jamais Européen n'avait passé.

C'est dans des conditions de travail un peu oubliées de la génération actuelle, c'est-à-dire sans abri pour la nuit, manquant souvent de vivres, réduits à ce que nous trouvions sur les coraux, que le levé hydrographique de 150 milles de côte et de 250 milles de récifs a été poursuivi régulièrement pendant trois ans. La triangulation du pays offrait d'ailleurs cette difficulté spéciale, que nous étions en hostilité avec les indigènes et qu'il était impossible de passer la nuit sur la grande terre. Plusieurs engagements de la garnison et le massacre en un seul jour de vingt-six colons ou travailleurs, au Mont-d'Or, ont montré que j'avais eu beaucoup de bonheur en poursuivant sans encombre mon exploration.

Une partie spéciale de ce levé mérite d'être notée : c'est celle qui a été faite à bord de l'aviso à vapeur *le Styx*, pendant le dernier mois de mon séjour dans l'île. J'ai déterminé, dans ce court espace de temps, 480 milles du récif qui s'étend au large de la Nouvelle-Calédonie, relié l'île Marc, l'île Uvea et les îles Art à la grande terre, en exécutant, au moyen d'une méthode expéditive et en partie nouvelle, une triangulation sous voiles qui sert encore aujourd'hui à fixer des sommets de l'intérieur, malgré l'abondance des matériaux recueillis depuis vingt-cinq ans. L'exactitude des résultats a dépendu, il est vrai, de ce que les points extrêmes avaient été préalablement déterminés avec une grande précision en latitude au moyen d'une lunette méridienne portative.

C'est en effectuant ces mesures de latitude que je notai la facilité avec laquelle on pouvait, en dérasant le corail par quelques coups de marteau, placer l'instrument à même le sol, sans installation aucune, puis obtenir en une nuit une latitude avec une grande précision.

Ainsi, par exemple, étant arrivé un soir avant le coucher du soleil à l'île Moro, située dans l'ouest de l'île des Pins, je pouvais avant la nuit abattre des broussailles, placer l'instrument, puis l'enlever à 11^h45^m du soir après avoir obtenu les valeurs suivantes pour la latitude du lieu :

Noms des étoiles observées au sud de l'instrument.	Lat. 22° 39'.
δ Crateris.......	6″,6
γ Crateris.......	5,2
β Leonis.......	4,5
ο Virginis......	3,2
α Corvi.........	3,6
γ Corvi.........	3,5
δ Virginis.......	5,0
η Bootis........	6,3
μ Virginis.	2,5
Moyenne.....	4,5

Noms des étoiles observées au nord de l'instrument.	Lat. 22° 39'.
4 Hydris.......	5″,4
ε Crucis	2,8
α Crucis.......	5,8
γ Centauri.....	3,6
β Crucis.......	3,4
k Centauri.....	2,4
β Centauri.....	5,4
Moyenne....	4,1

Ces résultats, d'une grande exactitude, vu les circonstances, m'ont amené à indiquer, dans une brochure publiée en 1859 ([1]), quel pouvait être dans une triangulation le nouveau rôle de la lunette méridienne portative de Brunner.

Pendant le temps de mon séjour à Nouméa, j'ai déterminé la longitude du chef-lieu de la colonie par une série de quinze culminations lunaires.

Les nombreuses observations du même ordre, faites quelques années plus tard par M. Adam Kulzycki, et les déterminations plus récentes du Directeur de l'Observatoire de Lyon, M. André, n'ont point fait modifier le chiffre que j'avais indiqué.

Bien plus, le transport de l'heure de la Nouvelle-Calédonie à Sydney montrait à l'un de nos officiers de marine que la position de l'observatoire de ce grand port offrait une discordance de 2′, au moment où l'on se disposait à faire à Sydney cette correction.

En résumé, ma mission en Nouvelle-Calédonie a produit un Atlas de quatorze Cartes remplaçant le croquis de d'Entrecasteaux, et elle a servi à montrer le parti heureux que l'on pouvait tirer de la lunette méridienne dans l'Hydrographie courante.

Levé du banc de Rochebonne.

Le banc de Rochebonne est situé à 36 milles de la côte de l'Aunis et de l'île d'Yeu. Il reste sur quelques-unes de ses têtes de 5^{m} à 10^{m} d'eau, mais la mer brise en mauvais temps sur toute la longueur du plateau, par des

([1]) *Annales hydrographiques*, t. XVI

fonds de 10^m à 30^m, ce qui en fait un des dangers les plus redoutés des navigateurs à destination des Pertuis ou de Bordeaux.

Le Service des phares ayant émis l'avis qu'il serait bon d'éclairer les abords de Rochebonne au moyen d'un feu flottant, je fus envoyé pour faire le levé complet de ce banc, déterminer sa distance à la terre, et la meilleure place à assigner au bateau-feu dans le cas où le mouillage serait possible.

L'opération paraissait assez compliquée : la côte de France est très basse dans ces parages, et à 60^{km} de distance il était impossible de voir du sommet des clochers l'extrémité des mâts d'un navire mouillé près du banc.

Quant à retrouver le banc lui-même pour en faire l'hydrographie, l'opération avait été tentée deux fois sans succès par M. Beautemps-Beaupré avec l'aide d'une véritable flottille de bateaux, et notre ancien Ingénieur en chef s'était borné, en désespoir de cause, à donner la position d'une tête de roches. Comme rien ne lui indiquait le point du plateau, dessiné par les pilotes du XVIIe siècle, auquel se rattachait cette tête, il commit sur le gisement entier du banc une erreur de 3 milles marins ($5^{km}, 5$).

J'ai reconnu, en 1859, le plateau dans toute son étendue, et, après avoir retrouvé toutes les têtes, j'ai rattaché la plus Est d'entre elles à la grande terre au moyen de trois procédés.

Dans le premier, j'ai utilisé la vitesse de propagation du son, pour donner la distance du banc à deux points de la terre situés au Nord et au Sud.

Dans le deuxième, on a pris, la nuit, d'un navire mouillé près du plateau, d'un autre bateau placé au milieu de l'intervalle qui sépare le plateau de la terre et enfin d'un phare, des azimuts réciproques sur des signaux de feu brûlés au même instant à bord des deux navires mouillés. L'opération a été faite deux fois, la première dans la direction du phare de l'île d'Yeu, au Nord, la seconde dans celle du phare des Baleines, à l'Est.

Enfin, comme vérification dernière, on a lancé du plateau, à une très grande hauteur, des fusées dans la direction du phare des Baleines, et elles ont pu être relevées avec un théodolite de ce dernier point.

Ces différents procédés ont donné des résultats concordants [1].

Le plateau étant levé et les pilotes affirmant qu'un bateau-feu pouvait y étaler au mouillage les coups de vent de l'hiver, il restait à fixer la position de ce mouillage et à indiquer le genre d'ancre et de chaîne qui devait être employé.

Une visite faite au feu flottant des Seven Stones, avec l'Ingénieur en chef

[1] *Voir* le Mémoire inséré dans les *Annales hydrographiques*, t. XVI, 1859.

Deslandes et le Commandant de Champeaux, nous détermina à préconiser l'emploi d'une seule ancre en forme de champignon, mouillée au moyen d'une seule chaîne d'un fort échantillon. Par suite de circonstances inutiles à rappeler, cet avis ayant été écarté, le bateau-feu fut mouillé avec un appareil assez compliqué d'ancres empennelées, et trois fois de suite en trois ans il vint à la côte après avoir perdu toutes ses chaînes.

Je reçus alors l'ordre de retourner sur le plateau et d'y rechercher *un endroit sain où des accidents du genre de ceux qui venaient d'arriver ne se renouvelleraient pas.*

Dans cette deuxième mission, plus difficile à remplir que la première, puisque l'on ne savait où gisaient les appareils de mouillage, je fus assez heureux pour retrouver encore une fois les têtes, puis un espace dégagé d'obstacles.

Le bateau y fut immédiatement mouillé suivant les règles que nous avions vu appliquer en Angleterre, et depuis cette époque, c'est-à-dire depuis seize ans, il ne s'est plus produit aucun accident.

A la fin de 1859, étant désigné pour aller coopérer à la reconnaissance de la Charente, M. Delbalat, chef de la mission, me confia le soin de faire des expériences sur la salure des eaux de la rivière à diverses heures de la marée. Je fus ensuite chargé des nivellements. Ce travail est inséré dans le portefeuille du levé général.

Plan d'Alexandrie.

Le levé que j'ai fait à Alexandrie en 1861 a montré l'utilité des sondages exécutés avec une grande précision. On croyait que le Boghaz, ou passe principale du port, ne pouvait pas être pratiqué par les vaisseaux à trois ponts. Le désastre d'Aboukir est dû à cette affirmation des pilotes.

Or, il résulte du levé détaillé que j'ai exécuté, avec l'assistance de M. Hatt, alors élève-ingénieur, et au moyen des méthodes usitées chez les seuls hydrographes français, qu'il existe dans le Boghaz une passe praticable pour les navires calant 8^{m}.

Le levé ordonné par le Ministre de la Marine avait pour but de vérifier la possibilité de faire suivre aux paquebots une route nouvelle; il a montré que ce soi-disant nouveau passage était encombré de roches omises dans le dernier travail publié par l'Amirauté anglaise.

D'un autre côté, l'examen détaillé du plan que j'avais levé m'a amené à

étudier six passes qui pouvaient être améliorées, et, me basant sur la dureté des roches au milieu desquelles elles étaient tracées, j'ai pu proposer d'établir un passage sain dans la plus favorable d'entre elles, en broyant avec un mouton spécial tous les points qui dépassaient un niveau déterminé.

Ce projet a été repris par M. Sciama-Bey, dans son étude sur les améliorations du port d'Alexandrie.

J'avais profité des derniers moments de mon séjour pour prendre la latitude et la longitude du phare.

Dans une Note adressée au Bureau des Longitudes, j'ai montré encore une fois l'approximation qui pouvait être obtenue en quelques heures dans ces déterminations par l'emploi de la lunette méridienne portative. A l'époque dont il s'agit, on annonçait que la longitude d'Alexandrie allait être donnée par le moyen de l'électricité; je n'ai pas hésité toutefois à publier celle que je venais de calculer au moyen d'une seule culmination lunaire. La différence entre les résultats a été moindre encore que je ne le pensais.

En 1862, je recevais l'ordre de déterminer la position la plus favorable à donner au feu flottant des Minquiers.

Les roches de ces parages étant en vue des feux de terre, le travail n'offrit aucune des difficultés de celui de Rochebonne, mais je le cite parce qu'il me mit sur une voie nouvelle. Le nombre des points en vue étant très limité (trois) et les courants atteignant des vitesses de 4 oeuds, il devenait assez difficile de sonder en lignes très serrées sans mouiller d'avance autant de bouées que l'on voulait faire de lignes. Or, le temps et les bouées manquant également, j'imaginai de conduire successivement l'aviso *le Faon* sur des arcs de cercle concentriques espacés régulièrement et passant tous par deux points en vue.

Cette méthode nouvelle de faire des lignes de sondes en suivant des arcs de cercle me parut ensuite si simple, on se maintenait sur la route avec tant de facilité au moyen d'un angle fixé sur le sextant, que je pensai plus tard à indiquer ce procédé pour passer, la nuit, au milieu des roches.

Ses applications, données dans le Tome Ier du *Pilote*, ont engagé plusieurs officiers de marine à l'employer dans des circonstances critiques, et amènent aujourd'hui un officier des plus distingués à en faire la base d'une méthode générale de navigation en vue des côtes.

Révision de la côte ouest de France.

C'est en 1863 que, étant attaché à la division de la côte ouest de France, j'ai commencé la révision du grand travail hydrographique fait autrefois sous la direction de M. Beautemps-Beaupré.

Il s'agissait de lever à nouveau tous les points de la côte qui avaient subi des modifications, de corriger l'ancienne triangulation en calculant de nouveaux points et en modifiant les bases employées en 1819 et 1825, enfin de faire une instruction générale sur la navigation de la côte.

Cette dernière partie embrassait l'étude complète des courants généraux et des courants de marée, celle de la marée dans tous les points où M. Chazallon avait eu des renseignements insuffisants, et enfin des recherches sur la marche générale des sables et des alluvions.

Ce programme, poursuivi jusqu'à son achèvement sur le terrain, c'est-à-dire pendant quatre années, a appelé mon attention sur divers points de l'Hydrographie qui demandaient des perfectionnements.

Ainsi, à la fin de 1863, j'avais vu qu'il m'était impossible de consacrer un temps suffisant pour refaire la triangulation de 200 lieues de côte si j'employais l'instrument utilisé par les géodètes du commencement du siècle ou le théodolite répétiteur qui lui a succédé.

Il me semblait d'ailleurs que ce dernier instrument était conçu dans des conditions singulières comme stabilité et précision. Il n'y avait dans les meilleurs modèles aucune relation entre les grandeurs des erreurs provenant des déviations accidentelles du pied, du pointé, de la division du cercle et de la lecture des angles sur le limbe.

Aussi, dans un Rapport adressé à l'Ingénieur en chef, et daté de décembre 1863, je demandais la construction d'un cercle azimutal à réitération, sans limbe vertical, aussi aplati que possible, et muni, au lieu d'un vernier, de deux microscopes. La lunette d'un fort modèle devait, conformément à des expériences alors récentes [1], être munie de trois fils dont deux faiblement écartés. Le pied, devenu très lourd et très solide, n'offrirait plus d'erreur provenant de sa torsion dans le cas où l'on n'aurait pas la possibilité de placer le cercle sur une base en maçonnerie.

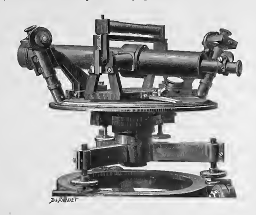
L'instrument, ne pouvant servir qu'aux mesures azimutales, cessait

---

[1] Expériences dues à M. Laugier.

d'être universel ; mais il acquérait une stabilité remarquable, puisque l'on ne conservait qu'une lunette sur quatre et qu'on supprimait toutes les vis de rappel, sauf une.

Le Rapport, approuvé le 18 janvier 1864, donna lieu à une commande à MM. Brunner, et l'instrument dont je donne ici le dessin fut livré le 27 avril suivant; il est en service depuis cette époque.



En appelant l'attention sur ces dates, je crois agir dans un intérêt qui dépasse un peu celui de ma candidature, puisqu'un instrument pareil à celui-ci, ayant servi, quatre ans plus tard, aux travaux de la grande Géodésie, a motivé la construction du cercle azimutal qui est préconisé aujourd'hui comme instrument international.

Ce dernier ne diffère en rien comme disposition de celui dont je donne le dessin. On s'est borné à doubler le nombre des microscopes et, sur le conseil de M. Yvon Villarceau, à ajouter un fil mobile pour rendre l'exactitude de cinq pointés égale à celle d'une lecture complète.

Voici, du reste, une série d'angles obtenus par M. Caspari, sous-ingénieur attaché à ma mission, le premier jour où cet instrument fut mis entre ses mains; elle permettra de juger à la fois de la justesse des vues qui m'ont amené à proposer un tel instrument et plus encore, il faut le dire, du talent de l'artiste qui l'a exécuté.

La station était faite au sommet du phare de la Chaume (Sables-d'Olonne),

l'instrument placé sur son pied en bois; l'angle mesuré était compris entre le phare des Barges et le clocher d'Ars, situé à 39^{km}; l'horizon laissait un peu à désirer comme netteté.

Angles réitérés.

1....................	126°-28′-28″,6
2...	126-28-27,5
3....................	126-28-28,7
4....................	126-28-28,2
5..	126-28-34,3?
6....................	126-28-26,7

Si l'on supprime de la série le cinquième angle, dont le pointé est manifestement mauvais, on voit que les écarts de la moyenne sont très faibles.

Cette observation seule suffit pour montrer le parti qu'a pu me rendre cet instrument dans ma campagne, puisque la durée de chaque station ne dépassait guère, en nombre d'heures, le nombre de jours employés autrefois par M. Daussy. Quelques-uns des angles ont été mesurés la nuit, en utilisant la lumière des phares. Ce cercle azimutal continue à être employé au Dépôt de la Marine : il a servi cette année à M. Bouillet, sous-ingénieur hydrographe, à faire une triangulation excellente entre Calais et Dunkerque.

D'autres perfectionnements ont été imaginés dans cette campagne des côtes de France pour augmenter la précision du levé et de sa construction. Je cite rapidement l'adjonction de tubes de verre à pointe effilée aux échelles de marée, pour avoir la hauteur de l'eau à quelques millimètres près, et la construction des stations au moyen des tangentes substituées au tracé du segment capable.

Les levés faits à l'occasion de la révision de la côte ouest surpassent en précision ceux de M. Beautemps-Beaupré; ils ont permis de livrer aux marins dix-sept plans nouveaux ; en outre, cinquante-deux plans ou Cartes ont été revisés.

Il me parut, dès 1863, que le levé de notre côte de l'Océan devait avoir un but plus vaste qu'une simple constatation d'un état de lieux. Le plan, qui ne servait guère qu'aux marins, pouvait être, en effet, considéré, dans son ensemble, comme déterminé par certaines conditions de grandeur des lames et de vitesse des courants, et susceptible, par suite, de fournir des équations de condition dont les variables correspondaient aux grandeurs des lames et aux vitesses des courants.

Pour leur donner une base, je songeai à cuber les quantités d'eau des

thalwegs, les masses des bancs, les volumes des plages à diverses époques et à des profondeurs différentes.

Le premier Mémoire où ces idées sont développées date de 1864 ([1]): il a trait au régime de la Loire. Les cubages sont effectués avec un procédé spécial qui laisse la trace du calcul en donnant à la fois les surfaces et les volumes.

Tous les chiffres de sondes d'un plan interviennent dans ces derniers.

Le Mémoire montre les caractères des bancs produits par le flot et des bancs produits par le jusant; il donne une première loi sur les profondeurs des thalwegs d'une rivière, montrant que ces profondeurs diminuent très lentement dans une rivière à fond très mobile. La forme générale d'une rivière n'est pas fonction de la moyenne des hauteurs de la marée en aval et de l'étiage en amont, mais de certains maxima fréquents de ces valeurs.

La stabilité des conditions générales de navigabilité d'une rivière n'est pas liée uniquement à celle de son profil en long.

Dans le même Mémoire, j'ai démontré théoriquement que des digues longitudinales ne devaient pas être prolongées en aval au delà d'une limite que le calcul pouvait indiquer, si l'on admettait que la profondeur d'un canal est une fonction de la force vive des eaux en mouvement.

Enfin, de la même époque datent mes premières idées sur la double sinusoïde suivie par les thalwegs à l'embouchure des fleuves et sur l'érosion dont la côte de France est l'objet.

Le Mémoire concluait à la possibilité de reconstituer une Loire maritime, en draguant ou faisant descendre les sables à la mer. Cette amélioration doit être rattachée à la mise en défense des terrains entraînés par les eaux sur les parties déclives qui bordent les affluents.

Un premier Mémoire sur l'amélioration des embouchures ([2]) de rivières date de 1865; j'y indique la loi des barres en montrant que, partout où la nature a donné au jusant une direction inclinée sur celle des lames de mauvais temps, la hauteur des barres extérieures diminue.

En résumé, la hauteur des barres est fonction de l'inclinaison du jusant sur la direction des lames et de la force vive des eaux du jusant.

La hauteur des barres est aussi fonction des matériaux qui servent à les former; ces matériaux proviennent du fleuve ou de la côte, mais les plus gros et les plus denses restent presque seuls sur les barres, qui semblent ainsi avoir emprunté leurs éléments constitutifs à d'autres milieux.

([1]) Reproduit dans les *Recherches sur le régime des côtes*; 1865.

([2]) Publié dans les *Recherches sur le régime des côtes*.

Des conclusions pratiques peuvent découler de ces lois, puisqu'on peut, en modifiant la direction du jusant, abaisser une barre. On pourrait également l'abaisser en arrêtant les plus gros matériaux qui doivent la former.

Saint-Jean-de-Luz.

A l'occasion d'un travail hydrographique fait à Saint-Jean-de-Luz, j'indiquais le mode employé par la lame pour ronger le fond de la rade, en expliquant pourquoi les travaux de protection reconstruits cinq fois en deux cents ans avaient tous été inefficaces. Puis, partant des lois mêmes de l'érosion, j'insistais pour obtenir une solution qui seule pouvait sauver une ville condamnée à périr sous les flots, en créant en même temps un refuge pour une flotte au fond du golfe de Gascogne.

Le Mémoire où ces idées ont été développées fut une des causes déterminantes de l'envoi du projet soumis au Conseil général des ponts et chaussées.

Les travaux du Socoa et d'Artha demandés dans ce Mémoire furent résolus immédiatement.

Plus tard, en 1873, je fus envoyé de nouveau à Saint-Jean-de-Luz pour vérifier si les résultats annoncés se vérifiaient.

Un second Mémoire suivit cette autre exploration ; il montrait que tout s'était passé conformément aux idées énoncées quelques années auparavant. Ce second exposé eut les honneurs bien rares d'une insertion dans les *Annales des Ponts et Chaussées.*

Aujourd'hui que les travaux approchent de leur achèvement, il ne peut y avoir un doute sur la sécurité de la ville. Quant au port de refuge, il reçoit tous les hivers nombre de bâtiments en relâche. Notons, pour montrer ce qu'est la puissance de la mer dans ces parages, qu'elle a pu dans un coup de vent faire reculer de 1^{m} une portion de jetée pesant $25\,000\,000^{kg}$.

Mémoire sur le port du Cap-breton.

Il était admis en principe, en 1865, que l'on ne pourrait jamais rien faire dans cette localité, à cause de la puissance de la lame qui venait s'y briser. Comme je pensais à l'utiliser pour l'entraînement des matériaux qui tendaient à former une barre devant le ruisseau du Cap-breton, je demandai en 1866 que l'on fît au nord du ruisseau l'essai d'une digue courbe orientée suivant les données scientifiques que j'avais exposées.

La moitié du projet a été adoptée par le Conseil général des ponts et chaussées; l'ouverture de l'étang d'Ossegore a augmenté dans une grande proportion la force vive des eaux du jusant et la profondeur du chenal; il reste à construire la jetée courbe du nord.

Dans le même ordre d'idées, en 1879, une Commission nautique a adopté pour la première fois le principe de la déviation de la jetée du nord de l'Adour. Les bases des travaux à la mer projetés ou en cours d'exécution au Chili [1], l'amélioration de l'entrée de Bilbao en Espagne sont conçues suivant les idées émises dans les Mémoires que je viens de citer.

Dévasement du port de Lorient.

Sur la demande du contre-amiral Chevalier, major général à Lorient, j'ai indiqué comment le procédé américain d'exploitation des sables aurifères pouvait servir à dévaser économiquement le port de Lorient.

La disposition des courants à l'entrée de la baie est telle, que les eaux troubles entraînées par le jusant dans le *coureau* de l'île de Groix sont remplacées par de l'eau claire venant du sud. Pour opérer le dévasement, il suffirait donc de livrer au jusant la plus grande partie des vases du port délayées sous l'action de puissants jets d'eau. Ce procédé pourrait être employé très économiquement en nombre de points de la côte ouest de France, situés dans des conditions analogues [2].

Pilote des côtes ouest de France.

L'instruction que j'ai rédigée sous ce nom donne les résultats obtenus pendant mon exploration, au point de vue spécialement nautique.

Elle contient les alignements à terre des passes et des dangers, éclaircis par 580 vues. Les deux volumes condensent de nombreuses recherches sur les marées et renferment des diagrammes qui permettent d'avoir, à un instant quelconque et pour chaque point de la côte, la hauteur de l'eau due à l'onde marée.

J'y ai inséré pour beaucoup de ports, notamment pour six mouillages du

---

(1) Voir l'*Anuario hidrografico de la marina de Chile*; 1877.

(2) Ce Mémoire, comme tous ceux qui traitent de la côte ouest, a été inséré dans les *Recherches hydrographiques*.

Morbihan, pour le fond de la baie de Bourgneuf, pour le port des Sables, l'île d'Aix, Rochefort et pour huit mouillages de la Gironde, des Tableaux de concordance donnant en fonction des heures et des hauteurs de la marée, à Brest et à Cordouan, les hauteurs correspondantes de l'eau dans ces localités. Les chiffres indiqués dans les Tableaux proviennent de recherches personnelles.

J'y donne aussi la clef du système de courants qui a amené au large de Rochebonne un grand banc de vase molle s'étendant jusqu'au parallèle de Brest. Ces mêmes courants ont, d'un autre côté, pu amener la formation du dépôt de Bry du pertuis d'Antioche aux dépens des alluvions entraînées par la Gironde.

Ces résultats ont modifié absolument l'ancienne manière de voir, qui donnait au Bry comme origine l'érosion des granits de la Bretagne.

Le *Pilote* contient également une méthode pour entrer par brouillard dans les Pertuis, en se basant sur la qualité du fond et sur le brassiage.

Le *Pilote des côtes ouest de France* a été traduit à l'étranger.

Passage de Mercure sur le Soleil.

M. Delaunay a bien voulu présenter à l'Institut, dans la séance du 23 novembre, les résultats de l'observation du passage de Mercure sur le Soleil, que j'avais faite au Dépôt de la Marine, le 5 novembre 1868.

Sondes par de grandes profondeurs.

Devant partir en 1869 pour aller faire de grandes sondes dans l'océan Atlantique, je cherchai quelles étaient les conditions les meilleures pour faire rapidement ce travail.

De l'examen des sondages exécutés par les Anglais, les Français et les Américains, il résultait que chaque capitaine avait appliqué une méthode différente, comportant un certain diamètre de ligne, un poids variable du plomb de sonde et un déclic spécial.

En appliquant les lois connues du frottement à tous les sondages, dans leurs diverses conditions, j'ai déduit les coefficients fondamentaux d'une formule, puis recherché les conditions particulières que devait remplir la meilleure ligne pour donner le résultat le plus favorable.

Le calcul a conduit à adopter une ligne à main de 18^{mm} de circonférence

et un plomb très lourd, en confirmant ainsi les vues du plus expérimenté des capitaines anglais.

Des Tables ont été ensuite dressées pour faciliter l'usage de cette meilleure ligne, et j'ai été amené à proposer un déclic assez simple pour être fabriqué à bord.

La brochure qui renferme cette étude a été traduite à l'étranger, notamment en Russie.

Détermination des longitudes des îles Tuamotu.

Il s'agit ici d'une discussion des routes de tous les capitaines ayant traversé l'archipel. En opérant par approximations successives, je suis arrivé à déterminer un ensemble de positions qui ont fourni une Carte essentiellement différente de celle qu'elle était destinée à remplacer. Le Mémoire contenant cette discussion a été envoyé en 1870 au Bureau des Longitudes et inséré dans la *Connaissance des Temps* de 1873.

Commissions nautiques.

Comme rapporteur des Commissions nautiques de la côte ouest, j'ai dû, pendant huit ans, porter une grande attention aux faits qui se présentaient sur le littoral. Les Rapports que j'ai rédigés sont aujourd'hui insérés, au nombre de trente-trois, dans les volumes des *Recherches hydrographiques*.

Inclinomètre liquide.

En 1869, je présentais au service des instruments un projet d'inclinomètre qui fut exécuté par M. Vinay.

L'instrument, destiné à mesurer à bord les mouvements de tangage et de roulis, est basé sur l'inertie d'une masse de liquide entraînant une ailette rendue astatique. On peut tracer avec un crayon, sur un papier transparent, la courbe donnée par les mouvements du navire.

Projectiles sans frottement.

Pendant la guerre de 1870, mon attention ayant été appelée à plusieurs reprises sur la perte de force vive qui se manifestait par le sifflement des balles et le bruit des obus, j'ai cherché quelle était la forme qui pourrait réaliser un frottement minimum dans l'air.

De nombreux essais faits à mes frais devant des Commissions, avec le chassepot, le fusil à tabatière et la pièce de 4, m'ont amené à des modèles donnant des portées supérieures.

Le Comité de la Marine et celui qui avait été institué pour le perfectionnement des armes de guerre ont bien voulu accueillir ces essais.

J'indique, du reste, ce travail sous toutes réserves, n'ayant eu dans ce cas d'autre prétention que d'offrir aux officiers spéciaux des expériences faites en partant d'une idée théorique, celle qui a conduit aux formes si fines de l'arrière de nos bâtiments.

Note sur un procédé nouveau de gravure sur cuivre.

Une Communication à l'Institut a fait connaître ce procédé, qui donne économiquement des résultats presque comparables à ceux du burin.

Le Dépôt de la Marine utilise aujourd'hui d'une façon régulière ce procédé.

Mission de l'île Campbell.

J'ai été envoyé en 1874 à l'île Campbell par l'Académie, comme chef d'une des missions du passage de Vénus sur le Soleil.

Le but principal de la mission n'a pu être rempli par suite de circonstances atmosphériques défavorables, mais les travaux accomplis n'ont pas été sans importance. Le volume qui les contiendra, et dont la publication est prochaine, comprendra :

1° La relation du séjour dans l'île;

2° Les observations astronomiques faites à deux lunettes méridiennes, par M. Hatt et par moi;

3° La marche de nos chronomètres;

4° Les observations sur l'intensité de la pesanteur et sur les mouvements du sol;

5° Les observations de magnétisme;
6° Une étude sur les marées;
7° Météorologie, chloruration de l'eau de mer;
8° Triangulation et topographie de l'île;
Une autre Section comprendra les observations du Dr Filhol sur la Géologie et l'Histoire naturelle.

J'ai présenté déjà à l'Académie, à cause des résultats nouveaux auxquels j'étais arrivé, le Mémoire suivant :

Mémoire sur la chloruration de l'eau de mer.

Ce Mémoire, présenté à l'Académie le 20 décembre 1875, contient le résultat des dosages effectués pendant le cours de mon second voyage autour du monde. Il indique, comme résultat d'expériences faites à Paris sur des échantillons d'eau de mer naturelle rapportés du voyage, la loi de la dilatation en fonction de la chloruration et de la température.

Il résulte de là une nouvelle correction aux hauteurs données par les marégraphes, une nouvelle notion sur l'équilibre des océans et un moyen d'en expliquer les différences de niveau.

Le principe de l'équilibre des vases communiquants s'applique en effet aux mers très étendues lorsque les densités sont diverses : c'est un équilibre de poids constamment troublé par les déversements superficiels. On peut donc avoir une notion des différences de niveau entre deux points, d'après l'échelle des densités et des températures à diverses profondeurs, si les parties inférieures sont identiques. En partant de cette donnée, j'ai indiqué, d'après les sondes du *Challenger*, le sens des surélévations de l'océan Atlantique et cherché directement la différence de hauteur entre la mer moyenne à Marseille et à Brest.

J'ai trouvé dans ce dernier cas un chiffre qui se rapproche beaucoup de celui que donne le nivellement général.

Expériences sur les tourbillons.

Deux Notes présentées en 1876 à l'Académie avaient trait à des expériences sur les tourbillons que l'on créait artificiellement dans des vases cylindriques.

En faisant varier la densité des couches liquides superposées, j'ai pu

avoir une notion très nette des effets produits par les tourbillons dans l'air aussi bien que dans les cours d'eau. L'importance de ces faits me semble extrême en ce qui concerne l'amélioration des rivières, le meilleur tracé de leur thalweg se rapportant en effet à la sinusoïde qui produit le plus de tourbillons utiles pour le cheminement des matériaux.

On voit ainsi la raison théorique de l'utilité des ouvrages que l'on construit en Italie en amont des ponts pour éviter l'affouillement des culées.

Port de la Rochelle.

J'ai présenté, en 1876, les résultats d'une exploration de la baie de la Rochelle, dans un Mémoire imprimé de 76 pages in-4°, suivi de 15 planches.

J'étudie dans ce Mémoire les lois des courants, des lames, leurs effets sur la côte et les fonds, et j'indique comme pouvant seule produire une amélioration durable du chenal actuel la création d'un système de digues et de bassins de retenue fait en vue des effets produits par les tourbillons. Je démontre alors comment un système de chasses à échelons successifs peut produire des profondeurs beaucoup plus considérables que celles qu'on obtient actuellement.

A côté de cette solution, répondant au programme qui m'avait été donné, j'ai ensuite montré qu'il en était une autre beaucoup plus simple, qui permettait de faire de la Rochelle une de nos plus grandes villes maritimes, par suite des conditions exceptionnelles de sa situation. C'est sur cette dernière solution que j'ai appelé toute l'attention des Ministres des Travaux publics et de la Marine.

Ce projet, malgré sa nouveauté, a été accepté à l'unanimité par la Chambre de commerce et par le Conseil municipal de la Rochelle; il a été soumis à l'examen de trois Commissions d'ingénieurs ou d'inspecteurs généraux des ponts et chaussées, et, après avoir été porté l'an dernier dans les travaux de ports classés, il va faire, à la rentrée des Chambres, l'objet d'un projet de loi spécial.

L'exploration de la Rochelle m'a conduit à étendre les vues sur le régime des barres, à montrer que ce phénomène général n'était que l'extension du principe qui a été utilisé dans les appareils de lévigation.

Les matériaux soulevés par les lames et entraînés par les courants sont classés en diverses zones par la mer, en raison des pertes de force vive qu'ils éprouvent.

J'ai indiqué aussi comment des sables pouvaient franchir des bancs de

vase molle, et enfin j'ai recherché quel était au XVIe siècle le jeu des marées dans les Pertuis.

Pendant le cours de cette mission à la Rochelle, ayant à faire de nombreux dosages de la vase contenue dans l'eau de mer, j'ai pensé à un essai de titrage basé sur un procédé optique. Les résultats ont été satisfaisants, et l'instrument (le pélomètre), aujourd'hui employé à la Rochelle, a été demandé par le service de la Gironde et par les ingénieurs qui conduisent les travaux de l'embouchure du Missisipi.

Séismographe enregistreur.

Pendant mon séjour à l'île Campbell, à la suite d'observations sur les mouvements de la bulle du niveau de la lunette méridienne, j'ai été amené à imaginer un instrument pour noter les plus petites variations des mouvements du sol.

Cet instrument, établi d'abord à faux frais, a été transformé à Paris en un instrument enregistreur, construit par MM. Breguet et Brunner.

Avant de le faire fonctionner dans les conditions où il pourrait me donner des résultats complets, c'est-à-dire dépendant des mouvements du sol et des attractions luni-solaires, j'ai voulu calculer à nouveau les coefficients relatifs aux marées des côtes de France.

De ce travail, commencé il y a deux ans, j'ai détaché récemment, pour le présenter à l'Institut, un Mémoire sur les ondes atmosphériques, basé sur vingt-cinq années d'observations faites à Brest.

Mémoire sur les ondes atmosphériques.

La vive critique qui a été faite de l'extrait de ce Mémoire, inséré dans les *Comptes rendus*, par un des candidats au fauteuil que je sollicite, m'impose le devoir de ne revenir sur ce sujet qu'avec une grande réserve; je crois, toutefois, que je puis présenter quelques chiffres pour faire tomber une des objections formulées en dernier lieu.

Il a été avancé par mon honorable contradicteur que les observations barométriques faites par l'observateur du marégraphe étaient entachées d'erreurs s'élevant jusqu'à $0^{mm},5$: s'il s'agit d'observations isolées on ne saurait prouver qu'elles ont été bien ou mal faites, mais on peut vérifier l'exactitude des moyennes obtenues au marégraphe en les comparant à d'autres

moyennes extraites des registres de l'Observatoire de Brest. J'ai fait ce travail pour les années 1874, 1875, 1876, et, en prenant les différences entre les six premiers mois et les six derniers de chaque année, on trouve en millimètres de mercure les chiffres : $-0^{mm},02$; $+0^{mm},16$; $-0^{mm},19$. La moyenne des différences n'est que de $0^{mm},016$, correspondant à $0^{mm},2$ de pression exprimée en eau.

Telle est l'erreur trouvée pour la moyenne des trois dernières années; comme mes calculs embrassent une période de vingt-cinq ans, je ne doute point que les résultats conduisent à des approximations du même ordre.

Quoi qu'il en soit, la critique portée devant l'Académie a eu pour effet de m'engager à étendre le champ de mes études sur ce sujet, et j'ai pu déjà montrer que l'onde lunaire mensuelle avait la même amplitude et la même forme à Hobarton (en Tasmanie) qu'à Brest. Je poursuis ces études pour divers points du globe, le champ me semblant assez vaste pour que je puisse y trouver des résultats intéressants.

Tableau logarithmique.

Les calculs que j'ai entrepris sur les marées m'amenant à me servir continuellement de méthodes abrégées pour faire des multiplications, j'ai pensé à construire une règle à calcul dont l'unité aurait 5^m de longueur. Pour rester dans les limites de la pratique, j'ai divisé cette longueur en vingt sections de $0^m,50$, et cette division a été répétée deux fois, ce qui, en réalité, a donné quatre systèmes de règles de 5^m divisées en dizaines ou centaines de 1000 à 10 000.

Deux impressions sur des feuilles de papier doublées de métal reproduisent sans rétrécissement le Tableau gravé sur cuivre. En reportant une de ces impressions sur une feuille de verre et en enlevant la moitié des lignes, on a un grillage qui permet de lire directement les produits de la multiplication ou de la division avec quatre chiffres exacts, ce qui est suffisant pour tous mes calculs.

Je suis chargé au Dépôt de la Marine, depuis plusieurs années, de la côte ouest de France et de l'océan Pacifique; cette dernière section seule m'a fait augmenter de plus de cent Cartes la riche collection du Dépôt de la Marine.

5780 Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.